



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Pat ntschrift  
⑩ DE 195 32 253 C 2

⑳ Aktenzeichen: 195 32 253.3-14  
㉔ Anmeldetag: 1. 9. 95  
㉕ Offenlegungstag: 6. 3. 97  
㉖ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 2. 7. 98

㉗ Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**B 23 P 13/00**  
B 21 C 23/08  
C 22 C 21/02  
C 22 F 1/05

DE 195 32 253 C 2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

㉚ Patentinhaber:  
PEAK-Werkstoff GmbH, 42553 Velbert, DE

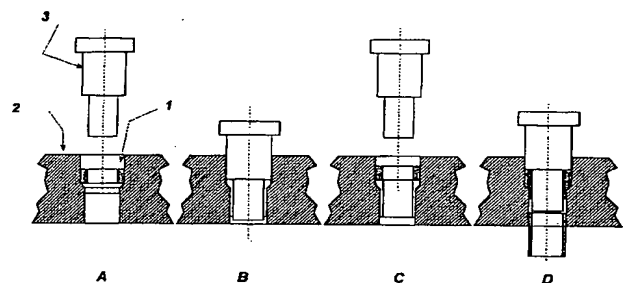
㉚ Erfinder:  
Commandeur, Bernhard, Dipl.-Ing., 42489 Wülfrath,  
DE; Hummert, Klaus, Dipl.-Phys., 48653 Coesfeld,  
DE; Schattevoy, Rolf, Dipl.-Ing., 42115 Wuppertal,  
DE; Ringhand, Dirk, 89077 Ulm, DE

㉞ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:  
DE 42 30 228 C1  
DE-PS 8 10 223  
DE 27 09 844 A1  
US 41 35 922  
EP 06 35 318 A1  
EP 05 29 520 A1  
EP 05 18 815 A1  
EP 03 41 714 A1

㉜ Verfahren zur Herstellung von dünnwandigen Rohren (II)

㉜ Verfahren zur Herstellung von dünnwandigen Rohren aus einem warmfesten und verschleißfesten Leichtmetallwerkstoff, insbesondere für Zylinderlaufbuchsen von Verbrennungsmotoren, umfassend das Sprühkompaktieren einer Legierungsschmelze oder das Warm- bzw. Kaltverdichten einer Pulvermischung bzw. eines legierten Pulvers, welches über Luft- oder Inertgasverdüsung in einer Partikelgröße von kleiner 250 µm erhalten wurde, zu Bolzen oder Rohrluppen aus einem übereutektischen Al-Si-Material, wobei die enthaltenen Si-Primärteilchen eine Größe von 0,5 bis 20 µm, vorzugsweise eine Größe von 1 bis 10 µm besitzen, und das Umformen dieser Bolzen oder Rohrluppen, dadurch gekennzeichnet, daß

- diese Bolzen oder Rohrluppen im Bedarfsfall zur Vergrößerung der enthaltenen Si-Primärteilchen vor dem Umformen einer Überalterungsglühung unterzogen werden, wobei die Si-Primärteilchen zu einer Größe von 2 bis 30 µm anwachsen, danach
- die auf Strangpreßtemperatur von 300 bis 550°C gehaltenen Bolzen oder Rohrluppen zu runden Vorformlingen mit einem Außendurchmesser kleiner 120mm zunächst stranggepreßt werden, danach
- die runden Vorformlinge in Abschnitte gewünschter Länge zerteilt werden und abschließend
- diese Abschnitte der Vorformlinge durch Fließpressen bei Temperaturen von 25 bis 600°C zu rohrförmigen Halbzeug mit einer Wanddicke von 1,5 bis 5mm umgeformt werden.



DE 195 32 253 C 2

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von dünnwandigen Rohren, welche aus einem warmfesten und verschleißfesten Leichtmetallwerkstoff bestehen, insbesondere zum Einsatz als Zylinderlaufbuchsen für Verbrennungsmotoren, gemäß den Merkmalen im Oberbegriff von Patentanspruch 1.

Laufbuchsen sind dem Verschleiß ausgesetzte Bauteile, die in die Zylinderöffnungen der Kurbelgehäuse des Verbrennungsmotors eingesetzt, eingepreßt oder eingegossen werden.

Die Zylinderlaufflächen eines Verbrennungsmotors sind starken Reibbeanspruchungen durch den Kolben bzw. durch die Kolbenringe und örtlich auftretenden hohen Temperaturen ausgesetzt. Es ist daher erforderlich, daß diese Flächen aus verschleißfesten und warmfesten Materialien bestehen.

Um dieses Ziel zu erreichen, gibt es u. a. zahlreiche Verfahren, die Oberfläche der Zylinderbohrung mit verschleißfesten Beschichtungen zu versehen. Eine andere Möglichkeit besteht darin, eine Laufbuchse aus einem verschleißfesten Material im Zylinder anzuordnen. So wurden u. a. Graugußlaufbuchsen verwendet, die aber eine im Vergleich zu Aluminium-Werkstoffen geringere Wärmeleitfähigkeit besitzen und andere Nachteile aufweisen.

Das Problem wurde vorerst durch einen gegossenen Zylinderblock aus einer übereutektischen AlSi-Legierung gelöst. Aus gießtechnischen Gründen ist der Silizium-Gehalt auf maximal 20 Gew.-% begrenzt. Als weiterer Nachteil des Gießverfahrens ist festzuhalten, daß während der Erstarrung der Schmelze Silizium-Primärteilchen mit verhältnismäßig großen Abmessungen (ca. 30–80 µm) ausgeschieden werden. Aufgrund der Größe und ihrer winkligen und scharfkantigen Form führen sie zu Verschleiß an Kolben und Kolbenringen. Man ist daher gezwungen, die Kolben und die Kolbenringe durch entsprechende Überzüge/Beschichtungen zu schützen. Die Kontaktfläche der Si-Teilchen zum Kolben/ Kolbenring wird durch mechanische Bearbeitung eingeebnet. Einer solchen mechanischen Bearbeitung schließt sich dann eine elektrochemische Behandlung an, wodurch die Aluminiummatrix zwischen den Si-Körnern leicht zurückgesetzt wird, so daß die Si-Körner als Traggerüst aus der Zylinderlauffläche geringfügig herausragen. Der Nachteil derartig gefertigter Zylinderlaufbahnen besteht zum einen in einem beachtlichen Herstellungsaufwand (teure Legierung, aufwendige mechanische Bearbeitung, eisenbeschichtete Kolben, armierte Kolbenringe) und zum anderen in der mangelhaften Verteilung der Si-Primärteilchen. So gibt es große Bereiche im Gefüge, die frei von Si-Teilchen sind und somit verstärktem Verschleiß unterliegen. Um diesen Verschleiß zu vermeiden, ist ein relativ dicker Ölfilm als Trennmedium zwischen Laufbahn und Reibpartnern erforderlich. Für die Einstellung der Ölfilmdicke ist u. a. die Freilegungstiefe der Si-Teilchen entscheidend. Ein verhältnismäßig dicker Ölfilm führt zu höheren Reibungsverlusten in der Maschine und zu einer stärkeren Erhöhung der Schadstoffemission.

Demgegenüber ist ein Zylinderblock gemäß DE 42 30 228 C1 aus einer untereutektischen AlSi-Legierung gegossen und mit Laufbuchsen aus übereutektischen AlSi-Legierungsmaterial versehen wird, kostengünstiger. Die zuvor genannten Probleme werden aber auch hier nicht gelöst.

Um die Vorteile der übereutektischen AlSi-Legierungen als Laufbuchsenmaterial nutzen zu können, ist das Gefüge hinsichtlich der Si-Körner zu verändern. Aluminiumlegierungen, die gießtechnisch nicht realisierbar sind, können bekanntlich durch pulvermetallurgische Verfahren oder Sprüh-

kompaktieren maßgeschneidert hergestellt werden.

So sind auf diese Weise übereutektische AlSi-Legierungen herstellbar, die aufgrund des hohen Si-Gehaltes, der Feinheit der Si-Teilchen und der homogenen Verteilung eine sehr gute Verschleißfestigkeit besitzen und durch Zusatzelemente wie beispielsweise Fe, Ni oder Mn die erforderliche Warmfestigkeit erhalten. Die in diesen Legierungen vorliegenden Si-Primärteilchen haben eine Größe von ca. 0,5 bis 20 µm. Damit sind die auf diese Weise hergestellten Legierungen geeignet für einen Laufbuchsenwerkstoff.

Obwohl Aluminium-Legierungen im allgemeinen leicht zu verarbeiten sind, ist das Umformen dieser übereutektischen Legierungen problematischer. Aus der EP 0 635 318 A1 ist ein Verfahren zum Herstellen von Laufbuchsen aus einer übereutektischen AlSi-Legierung bekannt. Hier wird die Laufbuchse durch Strangpressen bei sehr hohen Drücken und Strangpreßgeschwindigkeiten von 0,5 bis 12 m/min gefertigt. Um kostengünstig durch Strangpressen Laufbuchsen auf Endmaß zu produzieren, sind sehr hohe Preßgeschwindigkeiten notwendig. Es hat sich gezeigt, daß bei derartig schwer preßbaren Legierungen und den zu erzielenden geringen Wandstärken der Laufbuchsen die hohen Preßgeschwindigkeiten zum Aufreißen der Profile beim Strangpressen führen.

Die Aufgabe der Erfindung besteht daher darin, ein verbessertes, kostengünstiges Verfahren zur Herstellung von dünnwandigen Rohren, insbesondere für Zylinderlaufbuchsen von Verbrennungsmotoren, zur Verfügung zu stellen, wobei die gefertigten Laufbuchsen die geforderten Eigenschaftsverbesserungen bezüglich Verschleißfestigkeit, Warmfestigkeit und Reduzierung der Schadstoffemissionen aufweisen sollen.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch ein Verfahren mit den im Patentanspruch 1 angegebenen Verfahrensschritten gelöst.

Weitere Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

Die erforderlichen tribologischen Eigenschaften werden insbesondere dadurch erreicht, daß Verfahren angewendet werden, die eine weit höhere Erstarrungsgeschwindigkeit einer hochlegierten Schmelze erlauben.

Dazu gehört einerseits das Sprühkompaktierverfahren (im nachfolgenden "Sprühkompaktieren"). Zur Erzielung der gewünschten Eigenschaften wird eine mit Silizium hochlegierte Aluminium-Legierungsschmelze verdunstet und im Stickstoffstrahl mit einer Abkühlgeschwindigkeit von 1000°C/s abgekühlt. Die teilweise noch flüssigen Pulverteilchen werden auf einen rotierenden Teller gesprüht. Der Teller wird während des Vorganges kontinuierlich abwärts bewegt. Durch die Überlagerung beider Bewegungen entsteht ein zylindrischer Bolzen, der Abmessungen von ca. 1000 bis 3000 mm Länge bei einem Durchmesser von bis zu 400 mm hat. Aufgrund der hohen Abkühlgeschwindigkeiten entstehen in diesem Sprühkompaktierprozeß Si-Primärausscheidungen bis zu 20 µm Größe. Dabei kann der Si-Gehalt der Legierungen bis zu 40 Gew.-% betragen. Aufgrund der schnellen Abschreckung der Aluminium-Schmelze im Gasstrahl wird der Übersättigungszustand im erhaltenen Bolzen quasi "eingefroren".

Alternativ zur Bolzenherstellung können durch das Sprühkompaktieren auch dickwandige Rohrluppen mit Innendurchmessern von 50–120 mm und einer Wandstärke bis zu 250 mm hergestellt werden. Dazu wird der Partikelstrahl nach der Verdüsung auf ein horizontal um seine Längsachse rotierendes Trägerrohr gerichtet und dort kompaktiert. Durch einen kontinuierlichen und geregelten Vorschub in horizontaler Richtung wird auf diese Weise eine Rohrluppe hergestellt, die als Vormaterial für die Weiterverarbeitung

durch Rohrstrangpressen und/oder andere Warmumformverfahren dient. Das o.g. Trägerrohr besteht aus einer konventionellen Aluminium-Knetlegierung oder aus der gleichen Legierung, wie sie durch das Sprühkompaktieren hergestellt wird (artgleich).

Der Gefügestand des sprühkompaktierten Bolzens oder der sprühkompaktierten Rohrluppe kann durch anschließende Überalterungsglühungen geändert werden. Durch eine Glühung kann das Gefüge auf eine Si-Korngröße von 2 bis 30 µm eingestellt werden, wie es für die geforderten tribologischen Eigenschaften wünschenswert ist. Das Heranwachsen größerer Si-Partikel während des Glühprozesses wird durch Diffusion im Festkörper auf Kosten kleinerer Si-Partikel bewirkt. Diese Diffusion ist abhängig von der Überalterungstemperatur und der Dauer der Glühbehandlung. Je höher die Temperatur gewählt wird, desto schneller wachsen die Si-Körner. In diesem Prozeß spielt jedoch die Zeit eine untergeordnete Rolle. Geeignete Temperaturen liegen bei etwa 500°C, wobei eine Glühdauer von 3–5 Stunden ausreichend ist.

Ist ein Zustand mit feiner Si-Ausscheidungsgröße erwünscht, ist ein Glühprozeß nicht erforderlich. Eine Anpassung der Si-Ausscheidungsgröße erreicht man in diesem Fall durch das "Gas zu Metall-Verhältnis" während des Prozesses. Über das Sprühkompaktierverfahren hergestellte Bolzen oder Rohrluppen weisen in der Regel eine Dichte von mehr als 95% der theoretischen Dichte der Legierung auf. Zur vollständigen Verdichtung und Schließung der Restporosität ist das Warmstrangpressen bei Temperaturen von 350°C bis 550°C erforderlich.

Der Sprühkompaktierprozeß bietet weiterhin die Möglichkeit, über einen Partikelinjektor in den Bolzen oder in die Rohrluppe Teilchen einzubringen, die nicht in der Schmelze vorhanden waren. Da diese Teilchen eine beliebige Geometrie und eine beliebige Größe zwischen 2 µm und 400 µm aufweisen können, bestehen eine Vielzahl von Einstellungsmöglichkeiten für ein Gefüge. Diese Teilchen können z. B. Si-Partikel im Bereich von 4 µm bis 400 µm oder oxidkeramische Teilchen (z. B.  $Al_2O_3$ ) oder nicht oxidkeramische Teilchen (z. B.  $SiC$ ,  $B_4C$ , etc.) im vorgenannten Teilchengrößenspektrum sein, wie sie kommerziell erhältlich und für den tribologischen Aspekt sinnvoll sind.

Eine weitere Möglichkeit, eine geeignete Gefügebildung zu erzeugen, besteht in der schnellen Erstarrung einer mit Silizium übersättigten Aluminium-Legierungsschmelze (im nachfolgenden "Pulverroute"). Dabei wird durch eine Luft- oder Inertgasverdüsung der Schmelze ein Pulver erzeugt. Dieses Pulver kann einerseits vollständig legiert sein, was bedeutet, daß sämtliche Legierungselemente in der Schmelze enthalten waren, oder das Pulver wird aus mehreren Legierungs- oder Elementpulvern in einem folgenden Schritt gemischt. Das vollständig legierte, oder das gemischte Pulver wird anschließend durch kalisostatisches Pressen oder Heißpressen oder Vakuumheißpressen zu einem Bolzen oder einer Rohrluppe verpreßt. Der Bolzen oder die Rohrluppe können dann durch Warmstrangpressen vollständig verdichtet werden. Auch bei dieser Herstellungsweise lassen sich tribologisch sinnvolle Gefüge einerseits durch eine Glühbehandlung und andererseits durch Zumischung von Teilchen (Oxidkeramiken, Nichtoxidkeramiken, etc.) einstellen.

Das so eingestellte und damit maßgeschneiderte Gefüge verändert sich bei den nachfolgenden Verfahrensschritten nicht mehr oder es verändert sich für die geforderten tribologischen Eigenschaften günstig.

Durch Strangpressen wird aus dem Bolzenrohling, der über "Sprühkompaktieren" oder über die "Pulverroute" hergestellt wurde, ein dickwandiges Rohr mit einer Wandstärke

von 6 bis 20 mm oder eine Rundstange mit einem Durchmesser zwischen 50 mm und 120 mm geformt. Dabei liegen die Strangpreßtemperaturen zwischen 300°C und 550°C. Das Strangpressen einer Rundstange bietet Vorteile hinsichtlich der erreichbaren Preßgeschwindigkeiten, was die Herstellung von Rundstangen kostengünstiger macht.

Ebenso können aus den Rohrluppen, welche durch "Sprühkompaktieren" oder über die "Pulverroute" hergestellt wurden, dickwandige Rohre mit reduzierten Wandstärken erhalten werden.

Die erforderliche Umformung wird durch Fließpressen erreicht. Dazu werden entweder Rohrabchnitte oder Stangenabschnitte mit einem etwas größeren Volumen als das zu erzeugende dünnwandige Rohr verwendet. Bei der Verwendung von Rohrabchnitten kann sowohl Hohl- Vorwärts- Fließpressen als auch Hohl- Rückwärts- Fließpressen mit oder ohne Gegendruck zur Anwendung kommen. Bei der Verwendung von Stangenabschnitten kann sowohl Napf- Vorwärts- Fließpressen als auch Napf- Rückwärts- Fließpressen mit oder ohne Gegendruck zur Anwendung kommen.

Der Gegendruck kann bei allen Verfahren über einen Stempel aufgebracht werden. Ein Gegendruck ermöglicht die Herstellung eines Spannungszustandes im umzuformenden Material, der verhindert, daß Risse im umgeformten Material entstehen. Dies ist insbesondere erforderlich bei Werkstoffen, die bei Raumtemperatur nur ein begrenztes Umformvermögen besitzen.

Der Temperaturbereich, in dem die Umformung stattfinden kann, ohne daß es zu Änderungen des maßgeschneiderten Gefüges kommt, bewegt sich von Raumtemperatur bis zu Temperaturen von 480°C. Eine Umformung in Temperaturbereichen (abhängig vom Legierungssystem zwischen 520°C und 600°C), in denen es zum Auftreten einer flüssigen Phase kommt, ist ebenfalls möglich. In diesem Falle wird eine Vergrößerung der Si-Ausscheidungen auf Größen von 10 µm bis 30 µm, wie sie auch noch tribologisch sinnvoll sind, erreicht, wenn von nicht geglühtem Vormaterial ausgegangen wird.

Das auf die Endwanddicke oder nahe an die Endwanddicke geformte Rohr wird anschließend spanend an den Rohrenden fertigbearbeitet. Im Falle des Napf- Vorwärts und des Napf- Rückwärts- Fließpressens wird der dünnwandige Boden durch Zerspanung oder Stanzen entfernt.

Das erfindungsgemäße Verfahren hat den Vorteil, daß das Material für die Laufbuchse maßgeschneidert werden kann. Dem hohen Aufwand beim Strangpressen sowohl hinsichtlich Preßdruck, Preßgeschwindigkeit als auch Produktqualität wird durch den nachfolgenden zweiten Warmumformverfahrensschritt ausgewichen.

#### Beispiel 1

Eine Legierung der Zusammensetzung  $AlSi25 Cu2,5 Mg1 Ni1$  wird bei einer Schmelzentemperatur von 830°C mit einem Gas/Metall-Verhältnis von 4,5 m<sup>3</sup>/kg (Normkubikmeter Gas pro Kilogramm Schmelze) nach dem Sprühkompaktierprozeß zu einem Bolzen kompaktiert. Im sprühkompaktierten Bolzen liegen unter den genannten Bedingungen die Si-Ausscheidungen im Größenbereich von 1 µm bis 10 µm. Der sprühkompaktierte Bolzen wird einer Glühbehandlung von 4 h bei 520°C unterzogen. Nach dieser Glühbehandlung liegen die Si-Ausscheidungen im Größenbereich von 2 µm bis 30 µm. Durch Warmstrangpressen bei 420°C und einer Profilaustrittsgeschwindigkeit von 0,5 m/min in einem Kammerwerkzeug entsteht ein Rohr mit einem Außendurchmesser von 94 mm und einem Innendurchmesser von 68 mm. Da die Strangpreßtemperatur unterhalb der Glüh-

temperatur liegt, bleibt das eingestellte Gefüge erhalten.

Die stranggepreßten, dickwandigen Rohre werden zu kurzen Abschnitten von 30mm Länge abgelängt und bei 420°C durch Hohl- Vorwärts- Fließpressen zu dünnwandigen Rohrabschnitten mit einem Außendurchmesser von 74 mm bei einem Innendurchmesser von 67 mm und einer Länge von 130 mm umgeformt. Dabei können die Rohre vollständig ohne Bund ausgeformt werden, da jeder Abschnitt mit dem nachfolgenden Abschnitt durchgedrückt wird.

Wie der Skizze 1A zu entnehmen, wird der Rohling (1) in die Matrize (2) eingelegt. Der Preßstempel (3) im Zusammenwirken mit der Matrize (2) formt den ersten Rohling (1) teilweise zu einem Rohr um (Skizze 1B). Der Preßstempel (3) fährt dann wieder in die Ausgangsstellung und der nächste Rohling wird in die Matrize (2) eingelegt (Skizze 1C). Beim anschließenden Niederdrücken des Preßstempels (3) wird mit Hilfe des zweiten Rohlings der erste Rohrabschnitt vollständig ausgeformt und ausgeworfen (Skizze 1D).

Durch diese Vorgehensweise wird gleichzeitig im formgebenden Preßkanal ein Gegendruck erzeugt, der die fehlerfreie Umformung erleichtert.

#### Beispiel 2

Eine Legierung, wie sie in Beispiel 1 über Sprühkompaktieren hergestellt wurde, wird zu einer Rundstange mit einem Außendurchmesser von 74 mm stranggepreßt. Durch die einfachere Geometrie läßt sich eine Preßgeschwindigkeit von 1,5m/min erreichen, was eine nicht unerhebliche Kosteneinsparung bedeutet. Die Stange wird zu Abschnitten von einer Länge von 27mm zerteilt. Diese Abschnitte werden dann durch Napf- Rückwärts- Fließpressen bei Temperaturen von 420°C zu einem Napf mit einem Außendurchmesser von 74mm, einem Innendurchmesser von 67mm und einer Höhe von 130mm ausgeformt. Der dünne Boden mit einer Dicke von 4mm wird anschließend bei der Bearbeitung der Rohrenden ausgestochen.

#### Beispiel 3

Eine Legierung, wie sie in Beispiel 1 und 2 über Sprühkompaktieren hergestellt wurde, wird ohne vorherige Glühung zu einer Rundstange mit einem Außendurchmesser von 74 mm stranggepreßt. Die Si-Primärausscheidungen liegen in einem Größenbereich von 1 µm bis 7 µm. Die Stange wird in Abschnitte von einer Länge von 27mm aufgeteilt. Diese Abschnitte werden induktiv innerhalb von 4-5 min auf eine Temperatur von 560°C aufgeheizt. Bei dieser Temperatur befindet sich die Legierung zwischen Solidus und Liquidus. Der teilflüssige Stangenabschnitt ist mechanisch stabil und läßt sich noch handhaben.

Wie der Skizze 2 zu entnehmen, wird der teilflüssige Stangenabschnitt (1) in einem geschlossenen Werkzeug, welches aus Preßstempel (3), Matrize (2) und Auswerfer (4) besteht, durch Napf-Rückwärts-Fließpressen umgeformt. Dazu wird der Abschnitt (1) in das Werkzeug eingelegt (Skizze 2E), mittels des Preßstempels (3) umgeformt (Skizze 2F) und durch die Bewegung des Auswerfers (4) ausgestoßen (Skizze 2G). Es entsteht ein Napf mit einem Außendurchmesser von 74mm, einem Innendurchmesser von 67mm und einer Höhe von 130mm. Der Boden des ausgeformten Napfes mit einer Dicke von 4mm kann anschließend bei der Bearbeitung der Rohrenden ausgestochen oder über Stanzen entfernt werden.

Durch den teilflüssigen Zustand sind nur sehr geringe Umformkräfte erforderlich. Bedingt durch diesen teilflüssigen Zustand wachsen die Si-Ausscheidungen auf 20 µm bis 25 µm an.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von dünnwandigen Rohren aus einem warmfesten und verschleißfesten Leichtmetallwerkstoff, insbesondere für Zylinderlaufbuchsen von Verbrennungsmotoren, umfassend das Sprühkompaktieren einer Legierungsschmelze oder das Warm- bzw. Kaltverdichten einer Pulvermischung bzw. eines legierten Pulvers, welches über Luft- oder Inertgasverdüsung in einer Partikelgröße von kleiner 250 µm erhalten wurde, zu Bolzen oder Rohrluppen aus einem übereutektischen AlSi-Material, wobei die enthaltenen Si-Primärteilchen eine Größe von 0,5 bis 20 µm, vorzugsweise eine Größe von 1 bis 10 µm besitzen, und das Umformen dieser Bolzen oder Rohrluppen, **dadurch gekennzeichnet, daß**

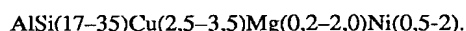
– diese Bolzen oder Rohrluppen im Bedarfsfall zur Vergrößerung der enthaltenen Si-Primärteilchen vor dem Umformen einer Überalterungsglühung unterzogen werden, wobei die Si-Primärteilchen zu einer Größe von 2 bis 30 µm anwachsen, danach

– die auf Strangpreßtemperatur von 300 bis 550°C gehaltenen Bolzen oder Rohrluppen zu runden Vorformlingen mit einem Außendurchmesser kleiner 120mm zunächst stranggepreßt werden, danach

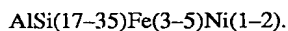
– die runden Vorformlinge in Abschnitte gewünschter Länge zerteilt werden und abschließend

– diese Abschnitte der Vorformlinge durch Fließpressen bei Temperaturen von 25 bis 600°C zu rohrförmigen Halbzeug mit einer Wanddicke von 1,5 bis 5mm umgeformt werden.

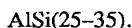
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Herstellung der Bolzen oder Rohrluppen eine Pulvermischung, ein legiertes Pulver oder eine Legierungsschmelze der folgenden Zusammensetzung eingesetzt wird:



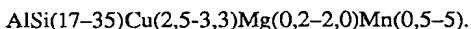
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Herstellung der Bolzen oder Rohrluppen eine Pulvermischung, ein legiertes Pulver oder eine Legierungsschmelze der folgenden Zusammensetzung eingesetzt wird:



4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Herstellung der Bolzen oder Rohrluppen eine Pulvermischung, ein legiertes Pulver oder eine Legierungsschmelze der folgenden Zusammensetzung eingesetzt wird:



5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Herstellung der Bolzen oder Rohrluppen eine Pulvermischung, ein legiertes Pulver oder eine Legierungsschmelze der folgenden Zusammensetzung eingesetzt wird:



6. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß beim Sprühkompaktieren ein Teil

des Siliziums über die Schmelze der eingesetzten AlSi-Legierung und ein Teil des Siliziums in Form von Si-Pulver mittels eines Partikelinjektors in den Bolzen oder in die Rohrluppe eingebracht wird.

7. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Überalterungsglühung zur Vergrößerung der Si-Primärteilchen bei Temperaturen von 460 bis 540°C über einen Zeitraum von 0,5 bis 10 Stunden vorgenommen wird. 5

8. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß der auf Strangpreßtemperatur gehaltene Bolzen zu einer Rundstange mit einem Durchmesser von 50 bis 120 mm stranggepreßt wird, welche anschließend in Stangenabschnitte zerteilt wird und die Stangenabschnitte durch Napf-Vorwärt-Fließpressen bzw. Napf-Rückwärts-Fließpressen mit oder ohne Gegendruck bei Temperaturen von 25 bis 600°C zu Näpfen umgeformt werden, wobei die Näpfe eine Wanddicke von 1,5 bis 5 mm und einem dünnwandigen Boden besitzen, welcher zur Bildung der gewünschten Rohre entfernt wird. 10 15 20

9. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die auf Strangpreßtemperatur gehaltenen Bolzen oder Rohrluppen zu dickwandigen Rohren von 6 bis 20 mm Wandstärke stranggepreßt werden, welche anschließend in Rohrabschnitte zerteilt werden und die dickwandigen kurzen Rohrabschnitte durch Hohl-Vorwärts-Fließpressen bzw. Hohl-Rückwärts-Fließpressen mit oder ohne Gegendruck bei Temperaturen von 25 bis 600°C zu längeren Rohrabschnitten mit reduzierter Wanddicke von 1,5 bis 5 mm umgeformt werden. 25 30

10. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Umformung durch Fließpressen bei Temperaturen von 25 bis 480°C vorgenommen wird. 35

11. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Umformung durch Fließpressen bei Temperaturen oberhalb der Solidustemperatur und unterhalb der Liquidustemperatur des übereutektischen AlSi-Materials vorgenommen wird. 40

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß auf die Überalterungsglühung verzichtet werden kann.

13. Verwendung eines nach den Ansprüchen 1 bis 12 hergestellten Rohrabschnittes als Laufbuchse für Verbrennungsmotoren aus Leichtmetall. 45

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---

50

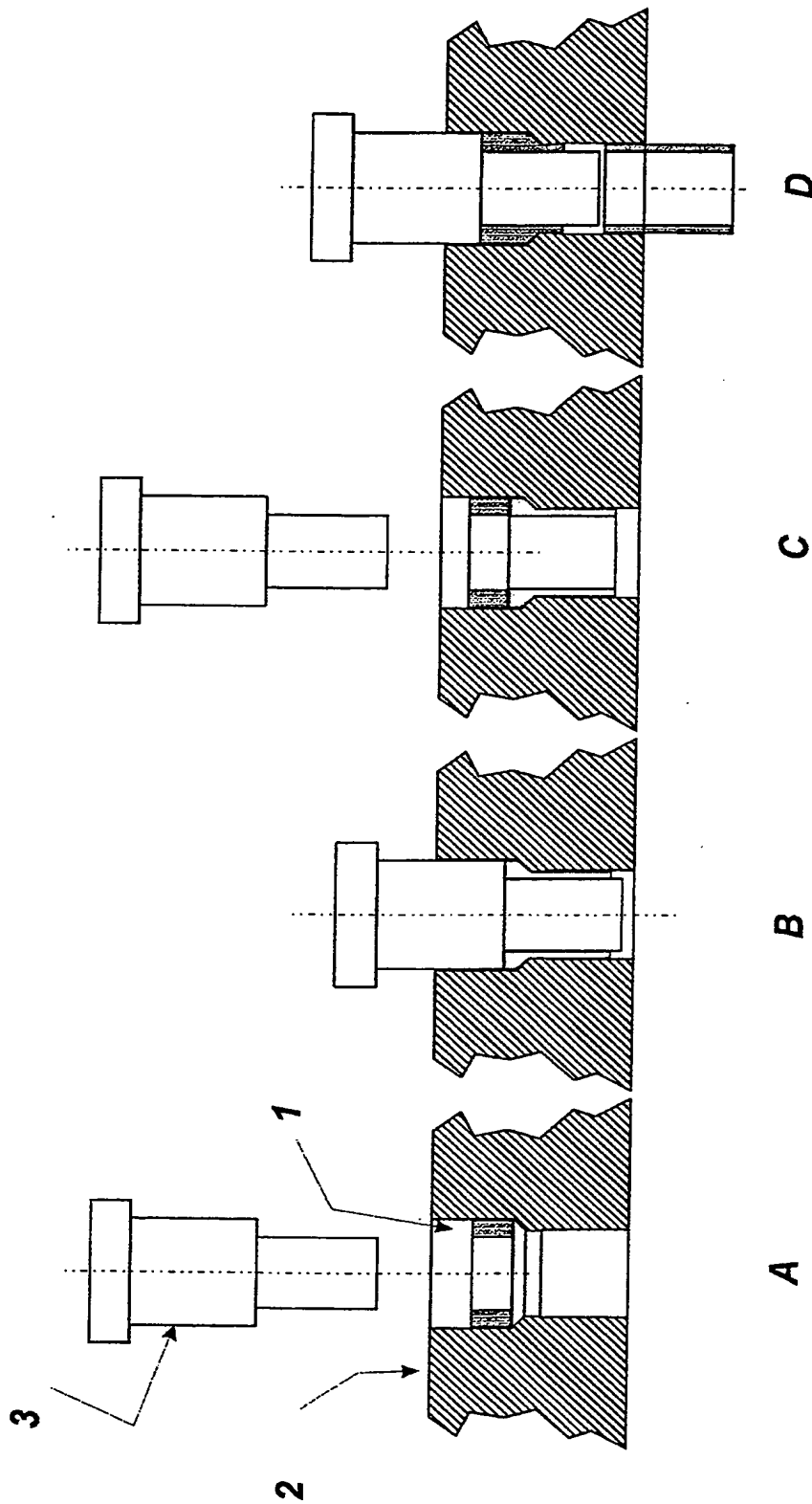
55

60

65

- Leerseite -

Skizze 1: Hohl - Vorwärts - Fließpressen (Beispiel 1)



Skizze 2 : Napf - Rückwärts - Fließpressen (Beispiel 3)

